



60188-831
ORITA
April 8, 2004

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

McDermott, Will & Emery

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 3 年 5 月 2 0 日
Date of Application:

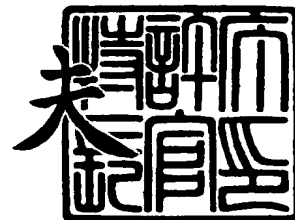
出 願 番 号 特 願 2 0 0 3 - 1 4 1 7 1 0
Application Number:
[ST. 10/C] : [J P 2 0 0 3 - 1 4 1 7 1 0]

出 願 人 松下電器産業株式会社
Applicant(s):


2 0 0 4 年 2 月 1 3 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 0 9 2 2 6

【書類名】 特許願

【整理番号】 2925050002

【提出日】 平成15年 5月20日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

【氏名】 折田 賢児

【特許出願人】

【識別番号】 000005821

【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100097445

【弁理士】

【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2003-110113

【出願日】 平成15年 4月15日

**【手数料の表示】**

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938



【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体発光素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 活性層を含む半導体多層膜構造が窒化物系化合物半導体により構成され、前記半導体多層膜構造に 2 次元周期構造の凹凸が形成され、前記凹凸の周期が発光波長の前記半導体多層膜構造中での光学的波長の 1 倍以上でかつ 20 倍以下であり、前記活性層から放射された光が前記凹凸により回折されることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】 活性層を含む半導体多層膜構造が窒化物系化合物半導体により構成され、前記半導体多層膜構造の上に 2 次元周期構造の凹凸を有する透明電極が形成され、前記凹凸の周期が発光波長の前記半導体多層膜構造中での光学的波長の 1 倍以上でかつ 20 倍以下であり、前記活性層から放射された光が前記凹凸により回折されることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 3】 活性層を含む半導体多層膜構造が窒化物系化合物半導体により構成され、前記半導体多層膜構造の上に透明電極と 2 次元周期構造の凹凸を有する透明層が形成され、前記凹凸の周期が発光波長の前記半導体多層膜構造中での光学的波長の 1 倍以上でかつ 20 倍以下であり、前記活性層から放射された光が前記凹凸により回折されることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 4】 前記凹凸がコンタクト層に形成されていることを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】 前記凹凸の上に透明電極を形成したことを特徴とする、請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】 前記透明電極もしくは透明層が膜厚 50 nm 以下の金属もしくは金属酸化物であることを特徴とする、請求項 2 もしくは請求項 3、請求項 5 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

【請求項 7】 前記凹凸の底部と前記活性層との距離が発光波長の前記光学的波長の 5 倍以下であることを特徴とする、請求項 1 ～請求項 3 のいずれか 1 つに記載の半導体発光素子。

【請求項 8】 前記凹凸の高さが前記光学的波長の 5 倍以下であることを特徴

とする、請求項 7 に記載の半導体発光素子。

【請求項 9】 プレス加工により前記凹凸を形成したことを特徴とする、請求項 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 10】 前記凹凸を形成する材料が樹脂であることを特徴とする、請求項 3 に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は半導体発光素子、特に GaN、InGa_N、AlGa_Nなどの窒化物系化合物半導体からなる半導体発光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

GaN に代表される窒化物系化合物半導体を用いることにより、これまで高い発光強度が困難であった高い紫外光から青色、緑色の波長帯において発光ダイオード (LED) や半導体レーザなどの発光素子が盛んに開発されている。特に LED は半導体レーザに比べ製造が容易でかつ制御が容易であり、また蛍光灯に比べ長寿命のため、窒化物系化合物半導体 LED は照明用光源として期待されている。

【0003】

以下、従来の窒化物系化合物半導体 LED の一例を示す (例えば特許文献 1 参照)。

【0004】

図 7 は特許文献 1 の図 10 に記載されているものであって、すなわち、従来の LED は、サファイア基板 1001 の上に GaN バッファ層 (図示せず)、n 型 GaN 層 1002、InGa_N 活性層 1003、p 型 GaN 層 1004 が順次結晶成長された構成を有する。また、InGa_N 活性層 1003 および p 型 GaN 層 1004 の一部がエッチングにより除去されて、n 型 GaN 層 1002 が露出している。n 型 GaN 層 1002 の上には、n 側電極 1006 が形成されている。p 型 GaN 層 1004 上には p 側透明電極 1005 が形成され、その一部に p

側ボンディング電極 1007 が積層されている。

【0005】

この LED は以下のように動作する。p 側ボンディング電極 1007 を通じて注入された正孔は p 側透明電極 1005 で横方向に拡がり、p 型 GaN 層 1004 から InGaN 活性層 1003 に注入される。一方、n 側電極 1006 を通じて注入された電子は n 型 GaN 層 1002 を通じて、InGaN 活性層 1003 に注入される。InGaN 活性層 1003 中で正孔と電子が再結合することで発光する。この光は p 側透明電極 1005 を通じて LED 外に放出される。

【0006】

しかし、このような従来構造では、光取り出し効率が低いという問題を有していた。光取り出し効率とは LED において、活性層で発生した光のうち LED から空気中に放出される割合である。光取り出し効率が低い原因は半導体の屈折率が空気よりも大きいので、半導体と空気の界面での全反射により活性層からの光が LED 内部に閉じ込められるためである。例えば GaN の屈折率は波長 450 nm で約 2.45 であるので、全反射が生じる臨界屈折角が約 23 度と小さい。つまり、半導体と空気の界面の法線からみて、この臨界角よりも大きい角度で活性層から放射された光は、半導体と空気の界面で全反射されるので、結局、活性層から放出される光の約 4 % しか LED の外へ取り出せない。従って、外部量子効率（LED に投入した電流のうち、LED から取り出せる光の効率）が低く、蛍光灯と比べて電力変換効率（投入した電力のうち、取り出せる光出力の効率）が低いという問題があった。

【0007】

この問題に対する解決策として、特許文献 1 の図 5 に開示されているように、LED の表面に凹凸を形成する技術が提案されている。具体的な構造を図 8 に示す。半球レンズ構造の凹凸が p 型 GaN 層 1004 に形成されている。この構造においては、半導体と空気の界面に対して臨界屈折角よりも大きい法線角度で活性層から放出された光も、凹凸面への入射角度が臨界屈折角よりも小さい場合が生じる。そのため、全反射されずに LED 外部に放出される確率が高くなり、外部量子効率が向上する。

【0008】

【特許文献1】

特開 2000-196152 号公報

【0009】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、特許文献1に提案されているような原理による光取り出し効率の向上技術では、凹凸面への入射角が形状により敏感に変化するために設計が非常に困難で、また素子作製上の寸法変動により対して特性が安定しないという課題を有していた。また、光取り出し効率が向上されるためには数 μm 程度の深さに凹凸を形成する必要があるが、窒化物系化合物半導体は耐エッチング特性が高いため加工が困難であった。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明の請求項1記載の半導体発光素子は、活性層を含む半導体多層膜構造が窒化物系化合物半導体により構成され、前記半導体多層膜構造に2次元周期の凹凸が形成され、前記凹凸の周期が発光波長の前記半導体多層膜構造中の光学的波長の1倍以上でかつ20倍以下であり、前記活性層から放射された光が前記凹凸により回折されることを特徴とする。ここでの光学的波長とは、真空もしくは大気中での発光波長を半導体の屈折率で割った値である。例えば、発光波長が450nmで半導体の屈折率が3の場合、光学的波長は150nmとなる。本構成によれば、2次元周期の凹凸により活性層から放出された回折効果によって、活性層から放射される光の進行方向が変わり、半導体と空気の界面に対して臨界屈折角よりも大きい法線角度で活性層から放出された光も放射角度を臨界屈折角よりも小さくすることができる。その結果、光取り出し効率が向上する。この現象が生じるのは周期が光学的波長の1倍以上の場合である。それ以下の周期では回折により角度変化が大き過ぎるので、回折後の放射角度が結局、臨界屈折角度よりも大きくなるため、光取り出し効率が向上しない。また、周期が光学的波長の20倍以上では、光取り出し効率向上の効果が低下する。これは周期が長過ぎると回折効率が低下するので、回折により放射角度が

変化する光の割合が減少するためである。なお、上記の回折は凹凸の周期構造により生じるので、凹凸の形状や寸法の変動による光取り出し効率への影響が少なく、製造歩留まりが高い。また、1次元周期構造の回折格子に比べて2次元周期構造なので、どの方向の放射角度の光に対しても回折作用を及ぼすため、光取り出し効率向上効果が高い。また、屈折率の高い窒化物系化合物半導体層に直接に凹凸を形成するので回折効率が高いため、光取り出し効率向上効果が高い。

【0011】

次に本発明の請求項2記載の半導体発光素子は、活性層を含む半導体多層膜構造が窒化物系化合物半導体により構成され、前記半導体多層膜構造の上に2次元周期構造の凹凸を有する透明電極が形成され、前記凹凸の周期が発光波長の前記半導体多層膜構造中での光学的波長の1倍以上でかつ20倍以下であり、前記活性層から放射された光が前記凹凸により回折されることを特徴とする。この構成により、耐エッチング性の高い窒化物系化合物半導体層に凹凸を形成する場合に比べ製造を容易とすることができ、製造コストが安い。

【0012】

次に本発明の請求項3記載の半導体発光素子は、活性層を含む半導体多層膜構造が窒化物系化合物半導体により構成され、前記半導体多層膜構造の上に透明電極と2次元周期構造の凹凸を有する透明層が形成され、前記凹凸の周期が発光波長の前記半導体多層膜構造中での光学的波長の1倍以上でかつ20倍以下であり、前記活性層から放射された光が前記凹凸により回折されることを特徴とする。この構成により、透明電極に凹凸を形成する場合に比べ電極を加工しないため、電流注入に不均一性などの悪影響を与えることがない。その結果、電力変換効率の低下を生じることがなく、光取り出し効率を向上させることができる。また、この透明層には導電性が必要とされないため、窒化物系半導体層や透明電極に凹凸を形成する場合に比べ、材料の選択性の自由度が高い。そのため加工が容易な材料を透明層に用いることにより、安価な製造方法を採用することにより低コストの素子を実現する。

【0013】

次に本発明の請求項4記載の半導体発光素子は、請求項1に記載の半導体発光

素子において凹凸がコンタクト層に形成されていることを特徴とする。凹凸を活性層から離れたコンタクト層のみに形成することにより凹凸を活性層中まで形成する場合に比べて、凹凸による正孔－電子の表面再結合の増加を避けることができる。そのため、内部量子効率（LEDに注入した電流のうち、LED内部で光に変換される割合）の低下を防ぐことができる。

【0014】

次に本発明の請求項5記載の半導体発光素子は、請求項1に記載の半導体発光素子において前記凹凸の上に透明電極を形成したことを特徴とする。この構成により、凹凸に関係なく電流を容易に均一に注入することができ、電流注入の不均一性による電力変換効率の低下を防ぐことができる。

【0015】

次に本発明の請求項6記載の半導体発光素子は、請求項2もしくは請求項3、請求項5のいずれか1つに記載の半導体発光素子において、前記透明電極もしくは透明層が膜厚50nm以下の金属もしくは金属酸化物であることを特徴とする。この構成により、導電性と透過率を両立させることができる。その結果、高い電力効率を実現することができる。

【0016】

次に本発明の請求項7の半導体発光素子は、請求項1～請求項3のいずれかに記載の半導体発光素子において、前記凹凸の底部と前記活性層との距離が発光波長の前記光学的波長の5倍以下であることを特徴とする。この構成において凹凸と活性層が近接するため、凹凸の高さがそれほど大きくなくても回折作用による光取り出し効率向上が実現する。

【0017】

具体的には請求項8の構成のように、前記凹凸の高さが前記光学的波長の5倍以下であれば、最大の光取り出し効率を得られる。この構成により、加工が困難な窒化物系化合物半導体への凹凸の形成も容易とすることができる。その結果、安い製造コストにより光取り出し効率向上が実現する。

【0018】

次に本発明の請求項9の半導体発光素子は、請求項3に記載の半導体発光素子

において、前記凹凸がプレス加工により前記凹凸を形成したことを特徴とする。
この構成においてリソグラフィーやエッチングなどの半導体プロセスを用いずに、微細な凹凸の容易な形成が可能となる。その結果、製造のスループットやコストが低減でき、安価で高効率の半導体発光素子が実現する。

【0019】

特に本発明の請求項10に記載のように前記凹凸を形成する材料として樹脂を用いれば材料が安価で膜形成や加工が容易であるため、なお一層の低コストの半導体発光素子が実現する。

【0020】

【発明の実施の形態】

以下、実施の形態を用いて本発明をさらに具体的に説明する。

【0021】

(第1の実施形態)

図1は、本発明の実施の形態1における半導体発光素子を示す斜視図である。
すなわち、同図の半導体発光素子は、サファイア基板1の上にGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層(図示せず)が膜厚30nm、n型Ga_{0.5}N_{0.5}層2が膜厚2μm、In_{0.5}Ga_{0.5}N活性層3が膜厚3nm、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層4が膜厚400nmの順で積層されているLEDである。In_{0.5}Ga_{0.5}N活性層3のPLピーク波長は450nmであるこれらの窒化物系化合物半導体の結晶成長方法には、MOCVD(有機金属化学気相成長: Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)法や、MBE(分子線エピタキシャル成長: Molecular Beam Epitaxy)法などを用いる。

【0022】

上記半導体発光素子の具体的な組成および構造のパラメータは、以下の(表1)に示す通りである。なお、(表1)中、ノンドープとは、該当する層に対しドーピングを意図的に行っていないことを示す。

【0023】

【表 1】

	膜厚	組成	ドーピング
GaN パッファ層	30 nm	GaN	ノンドープ
n 型 GaN 層 2	2 μ m	GaN	$n=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$
InGaN 活性層 3	3 nm	$\text{In}_{0.45}\text{Ga}_{0.55}\text{N}$	ノンドープ
p 型 GaN 層 4	4 μ m	GaN	$p=7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$

【0024】

InGaN 活性層 3、p 型 GaN 層 4 の一部はエッチングにより除去されて、n 型 GaN 層 2 が露出している。この構造の形成には例えば、エッチングマスクのレジストのパターニングにはフォトリソグラフィを利用し、窒化物系化合物半導体のエッチングには RIE（反応性イオンエッチング：Reactive Ion Etching）法やイオンミリング（Ion Milling）法などのドライエッチング技術や、紫外線を照射しながらの光化学エッチングや加熱した酸・アルカリ液によるエッチングなどのウェットエッチング技術を用いる。

【0025】

p 型 GaN 層 4 の表面に 2 次元周期構造の凹凸が形成されている。凹凸の周期、すなわち 2 次元の面内で縦方向または横方向の隣り合う凹部または凸部の中心間隔は 1 μ m、凹凸の高さは 200 nm である。この凹凸の形成に必要なエッチングマスクは例えば、干渉露光や電子ビーム露光、ステッパーなどの方法によりレジストをパターニングする。さらにドライエッチングやウェットエッチングによりレジストパターンを p 型 GaN 層 4 に転写し、2 次元周期構造を作製する。

【0026】

p 型 GaN 層 4 の上には透明電極 5、例えば ITO（Indium Tin Oxide）が 100 nm 堆積されている。この実施形態では、ITO をスパッタ法により形成している。透明電極 5 としては ITO のような導電性の金属酸化物だけでなく、LED 発光波長に対して透過率が高ければ、高導電性と低コンタクト抵抗である薄膜の金属も用いることができる。この場合、透過率を確保するために金属の膜厚は 50 nm 以下であることが望ましい。例えば、膜厚 10 nm の Ni とその上に形成した膜厚 40 nm の Au の積層膜を、透明電極 5 として用いることができる。

【0027】

露出した n 型 GaN 層 2 の上には Ti / Al の n 側電極 6 が設置されている。さらに ITO 透明電極 5 の一部上には Au の p 側ボンディング電極 7 が形成されている。

【0028】

本実施形態の特徴は、p 型 GaN 層 4 の表面に 2 次元周期の凹凸を加工、形成し、活性層 3 から放出された光が回折されている点である。この回折のため、半導体と空気の界面に対して臨界屈折角よりも大きい法線角度で活性層から放出された光も、放射角度が臨界屈折角よりも小さくなる。すなわち、表面に凹凸がない場合には放射角度が臨界屈折角よりも大きい光は全反射により LED 外部へ放出されないが、本発明のような構造では上記のような光も LED 外部へ取り出すことができるため、光取り出し効率が向上する。また、本発明の特徴は凹凸が一方方向のみに周期構造がある回折格子とは異なり、2 次元の周期構造であることである。また、1 次元周期構造の回折格子に比べて 2 次元周期構造なので、どの方向の放射角度の光に対しても回折作用を及ぼすため、光取り出し効率向上効果が高い。

【0029】

図 2 に凹凸の周期と光取り出し効率の関係を理論計算した結果を示す。グラフの横軸は波長 450 の光の LED 内部での光学的波長（屈折率 2.5）で規格化した凹凸の周期、縦軸は凹凸を形成していない場合で規格化した光取り出し効率を示している。凹凸の周期が光学的波長の 1 倍以上で 20 倍以下において、光取り出し効率が増加していることが分かる。2.5 と屈折率の高い窒化物系化合物半導体層に直接に凹凸を形成するので回折効率が高いため、光取り出し効率向上が最大で約 4 倍と大きい。

【0030】

発光波長の光学的波長の 1 倍以下の周期では回折により角度変化が大き過ぎるので、回折後の放射角度が結局、臨界屈折角度よりも大きくなるため、光取り出し効率が向上しない。また、周期が発光波長の光学的波長の 20 倍以上では、光取り出し効率向上の効果が低下する。これは周期が長過ぎると回折効率が低下す

るので、回折により放射角度が変化する光の割合が減少するためである。

【0031】

なお、上記の回折は凹凸の周期構造により生じるので、凹凸の形状や寸法の変動による光取り出し効率への影響が少なく、製造歩留まりが高い。

【0032】

次に凹凸の高さと光取り出し効率の関係を理論計算した結果を、図3および図9に示す。なお、図3において、凹凸の周期とは図1に示す凹凸構造について縦横に等間隔に配列された凹凸の、2次元の面内で縦または横方向で隣り合う凹の中心または凸の中心間の間隔のことを指す。凹凸の高さの値は、LEDの発光波長に関する光学的波長を1としてその相対値を取っている。また、図9は、発光波長を450nmとしたときの凹凸の高さと光取り出し効率の関係を、凹凸の周期および高さの具体的な値を用いて示した図である。

【0033】

凹凸の高さがLEDの発光波長に関する光学的波長の1倍（約180nm）程度の小さい場合でも、光取り出し効率が2倍以上となることが分かる。これは凹凸と活性層が近接するため、凹凸の高さがそれほど高くなくても回折作用による光取り出し効率向上が実現する。凹凸の底部と活性層との距離は、発光波長の光学的波長の5倍以下であることが望ましい。また、このように凹凸を浅いエッチングで形成するだけで光取り出し効率を向上できるため、加工が困難な窒化物系化合物半導体への凹凸の形成も容易とすることができる。その結果、安い製造コストにより光取り出し効率向上が実現する。

【0034】

このように得られた半導体発光素子の特性を、図4に示す。図4(a)は電流－電圧特性、図4(b)は電流－光出力特性である。各グラフ中には、p型GaIn層4の表面に凹凸を形成していない従来の構造の半導体素子（ただしp型GaIn層4の膜厚は200nm）の特性も示している。

【0035】

図4(a)の電流－電圧特性を見ると、立ち上り電圧もほぼ同じ曲線であることが分かる。すなわち、p型GaIn層4の表面に本実施形態のように200nm

と浅い凹凸を形成しても、凹凸を形成しない従来例と比べて電流－電圧特性に悪影響を与えない。

【0036】

図4(b)の電流－光出力特性から本実施形態の素子は、従来例と比べて同一電流における光出力が図2の理論計算とほぼ同じ3.5倍に増加していることが分かる。これは凹凸を形成することにより内部量子効率の低下と電力変換効率の低下が、この本実施形態で避けられていると考えられている。

【0037】

すなわち、凹凸を活性層から離れたコンタクト層のみに形成することにより凹凸を活性層中まで形成する場合に比べて、凹凸による正孔－電子の表面再結合の増加を避けることができる。そのため、内部量子効率(LEDに注入した電流のうち、LED内部で光に変換される割合)の低下を防ぐことができる。また、凹凸の上に透明電極5を形成することにより、凹凸に関係なく電流を容易に均一に注入することができる。従って、電流注入の不均一性による電力変換効率の低下を防ぐことができる。

【0038】

以上のように本実施形態によって、電流特性を低下することなく光取り出し効率が高い半導体発光素子を、量産性良く提供できる。

【0039】

(第2の実施形態)

図5は、本発明の実施の形態2における半導体発光素子を示す斜視図である。すなわち、同図の半導体発光素子は、サファイア基板1の上にGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層(図示せず)が膜厚30nm、n型Ga_{0.5}N_{0.5}層2が膜厚2μm、InGa_{0.5}N_{0.5}活性層3が膜厚3nm、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層4が膜厚200nmの順で積層されているLEDである。InGa_{0.5}N_{0.5}活性層3のPLピーク波長は450nmであるこれらの窒化物系化合物半導体の結晶成長方法には、MOCVD法や、MBE法などを用いる。InGa_{0.5}N_{0.5}活性層3、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層4の一部はエッチングにより除去されて、n型Ga_{0.5}N_{0.5}層2が露出している。

【0040】

p 型 GaN 層 4 の上には透明電極 5 としてスパッタ法や CVD (Chemical Vapor Deposition) 法などにより、ITO などの導電性の透明の金属酸化物が 300 nm 堆積されている。透明電極 5 の表面に 2 次元周期構造の凹凸が形成されている。凹凸の周期は $0.5 \mu\text{m}$ 、凹凸の高さは 200 nm である。この凹凸の形成に必要なエッチングマスクは例えば、干渉露光や電子ビーム露光、ステッパーなどの方法によりレジストをパターンニングする。さらにドライエッチングやウェットエッチングによりレジストパターンを透明電極 5 に転写し、2 次元周期構造の凹凸を作製する。ドライエッチングには RIE 法やイオンミリング法などのドライエッチング技術や、HCl などの酸によるウェットエッチング技術を用いる。

【0041】

露出した n 型 GaN 層 2 の上には Ti / Al の n 側電極 6 が設置されている。さらに透明電極 5 の一部上には Au の p 側ボンディング電極 7 が形成されている。

【0042】

本実施形態の特徴は、透明電極 5 の表面に 2 次元周期の凹凸が形成されている点にある。凹凸の周期が発光波長の半導体多層膜構造中での光学的波長の 1 倍以上でかつ 20 倍以下とすることにより、前述の第 1 の実施形態と同様の回折作用により光取り出し効率を向上させることができる。

【0043】

この構成は窒化物系化合物半導体よりも屈折率の低い ITO (屈折率 2.0) である金属酸化物に凹凸を形成するため光取り出し効率の向上は従来の 2.5 倍と第 1 の実施形態よりも低い、耐エッチング性の高い窒化物系化合物半導体層に凹凸を形成する場合に比べ製造を容易とすることができ製造コストが安い。また、窒化物系化合物半導体に凹凸を形成する場合、電流特性の低下を避けるために凹凸の底部と活性層の距離を離すなどの素子設計上の注意が必要であるが、本実施形態では従来の素子と半導体多層膜構造以外は同じであるため、従来の素子設計が変更なく利用できる。

【0044】

以上のように本実施形態によって、光取り出し効率が高い半導体発光素子を、量産性良く提供できる。

【0045】

(第3の実施形態)

図6は、本発明の実施の形態3における半導体発光素子を示す斜視図である。すなわち、同図の半導体発光素子は、サファイア基板1の上にGa_{0.5}N_{0.5}バッファ層(図示せず)が膜厚30nm、n型Ga_{0.5}N_{0.5}層2が膜厚2μm、InGa_{0.5}N_{0.5}活性層3が膜厚3nm、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層4が膜厚200nmの順で積層されているLEDである。InGa_{0.5}N_{0.5}活性層3のPLピーク波長は450nmであるこれらの窒化物系化合物半導体の結晶成長方法には、MOCVD法や、MBE法などを用いる。InGa_{0.5}N_{0.5}活性層3、p型Ga_{0.5}N_{0.5}層4の一部はエッチングにより除去されて、n型Ga_{0.5}N_{0.5}層2が露出している。p型Ga_{0.5}N_{0.5}層4の上には透明電極5として膜厚10nmのNiとその上に形成した膜厚40nmのAuの積層膜を形成している。

【0046】

露出したn型Ga_{0.5}N_{0.5}層2の上にはTi/A₁のn側電極6が設置されている。さらに透明電極5の一部上にはAuのp側ボンディング電極7が形成されている。

【0047】

透明電極5の表面に樹脂や金属酸化物などの透明な材料により透明層8に2次元周期構造の凹凸が形成されている。凹凸の周期は1.5μm、凹凸の高さは300nmである。本実施形態では、ポリカーボネイトの樹脂を用いた。

【0048】

本実施形態においては、周期が発光波長の半導体多層膜構造中での光学的波長の1倍以上でかつ20倍以下の2次元構造の凹凸を透明層8に形成することにより、前述の第1や第2の実施形態と同様の回折作用により光取り出し効率を向上させることができる。

【0049】

この構成は窒化物系化合物半導体よりも屈折率の低い樹脂(屈折率約1.5)

や金属酸化物（屈折率約 2.0）である金属酸化物に凹凸を形成するため光取り出し効率の向上は従来の 2.0～2.5 倍と第 1 の実施形態よりも低い、耐エッチング性の高い窒化物系化合物半導体層に凹凸を形成する場合に比べ製造を容易とすることができ製造コストが安い。また導電性を必要としないため、材料の選択の自由度が高く加工性の容易な材料を用いることができる。例えば透明層 8 に樹脂を用いた場合には、凹凸の形成にフォトリソグラフィとエッチングなどの半導体加工技術ではなく、予め凹凸を形成したスタンプを過熱した樹脂にプレスすることにより凹凸を転写する技術を用いることもできる。この凹凸形成技術は上述の半導体技術と異なり、非常に安価に微細構造が形成できるため、低コストで光取り出し効率の高い半導体発光素子を製造できる。

【0050】

また、窒化物系化合物半導体や透明電極に凹凸を形成する場合と比べ、電流注入に不均一性などの悪影響を与えることがない。その結果、電力変換効率の低下を生じることがなく、光取り出し効率を向上させることができる。

【0051】

以上のように本実施形態によって、光取り出し効率が高い半導体発光素子を、量産性良く提供できる。

【0052】

なお、上記実施形態において説明した凹凸について、図 10（a）に示す凸の頂部が正形状に 2 次元で周期的に配列する場合以外にも、図 10（b）に示す凸の頂部が正三角形に 2 次元で周期的に配列する場合においても、上記に説明したのと同様の効果が得られる。

【0053】

また、上記の実施形態では加工が困難な窒化物系化合物半導体や、光学的波長が青色や紫色の短波長の発振波長に対応して凹凸の周期が小さくなり微細加工が困難な場合を特に記載しているが、半導体として AlGaAs（屈折率 3.6）や AlGaInP（屈折率 3.5）を用いた赤外や赤色の半導体発光素子に対しても本発明の設計は適用可能である。光学的波長は発振波長 850 nm の赤外光の場合は約 240 nm、620 nm の赤色の場合は約 180 nm となる。従って

、図 2 より凹凸の周期が赤外光の場合は $1.6\ \mu\text{m}$ 、赤色の場合は $1.2\ \mu\text{m}$ において光取出し効率増加の効果が最大となる。このように μm オーダーの加工はサブ μm の加工より低コストで実現ができる。

【0054】

【発明の効果】

上記のように、本発明を用いれば、高効率な半導体発光素子を、特に窒化物系化合物半導体を用いた高効率な半導体発光素子を量産性高くかつ低価格で製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の第 1 の実施の形態における半導体発光素子を示す斜視図

【図 2】

本発明の第 1 の実施の形態における凹凸の周期と光取り出し効率の理論計算結果を示す図

【図 3】

本発明の第 1 の実施の形態における凹凸の高さと光取り出し効率の理論計算結果を示す図

【図 4】

(a) 本発明の第 1 の実施の形態における電流－電圧特性を示す図

(b) 本発明の第 1 の実施の形態における電流－光出力特性を示す図

【図 5】

本発明の第 2 の実施の形態における半導体発光素子を示す斜視図

【図 6】

本発明の第 3 の実施の形態における半導体発光素子を示す斜視図

【図 7】

従来の半導体発光素子を示す斜視図

【図 8】

従来の半導体発光素子を示す斜視図

【図 9】

本発明の第1の実施の形態における凹凸の高さと光取り出し効率の、具体的な関係を示す図

【図10】

(a) 凸の頂部が正形状に配列する場合の、凹凸の配列に関する上面図

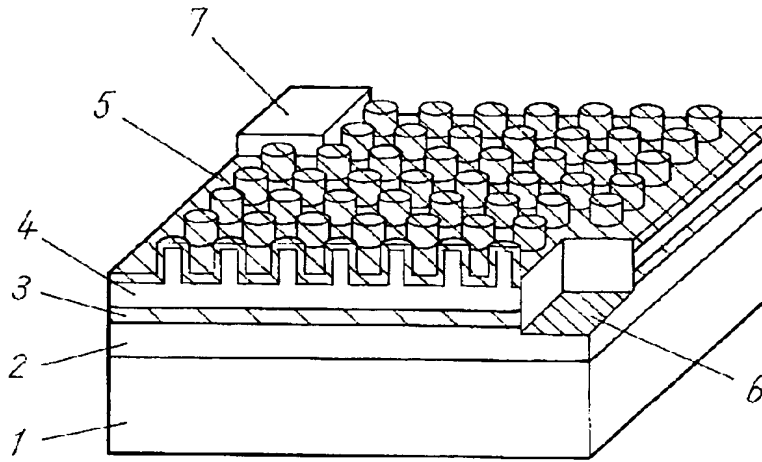
(b) 凸の頂部が正三角形形状に配列する場合の、凹凸の配列に関する上面図

【符号の説明】

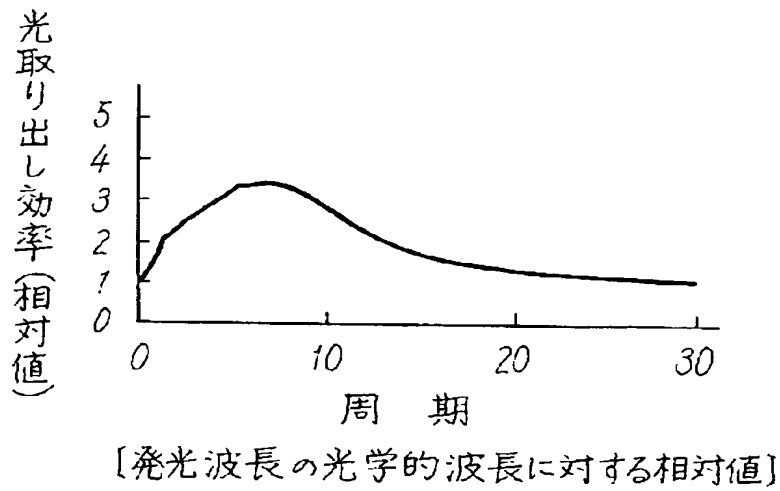
- 1、1001 基板
- 2、1002 n型GaN層
- 3、1003 InGaN活性層
- 4、1004 p型GaN層
- 5、1005 透明電極
- 6、1006 n側電極
- 7、1007 p側ボンディング電極
- 8 透明層

【書類名】 図面

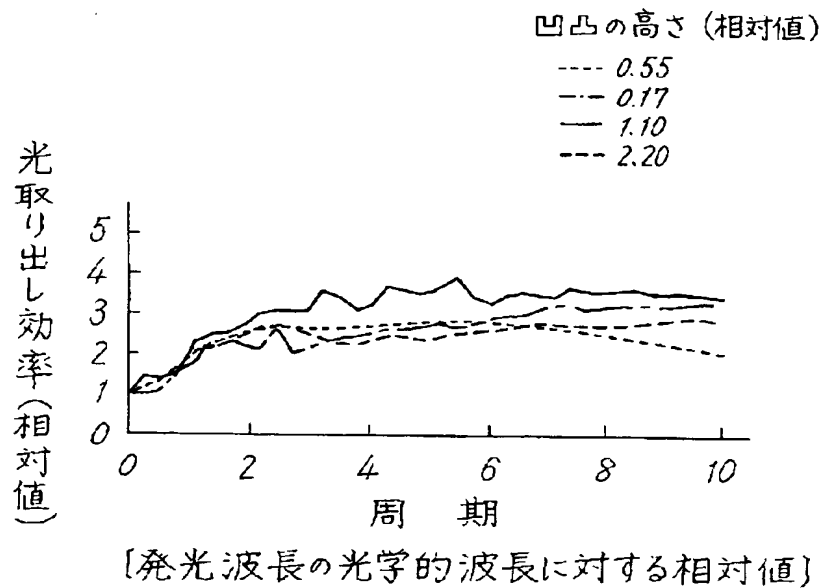
【図 1】



【図 2】

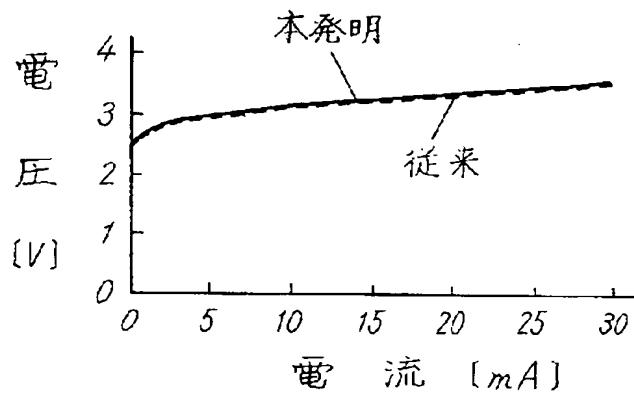


【図3】

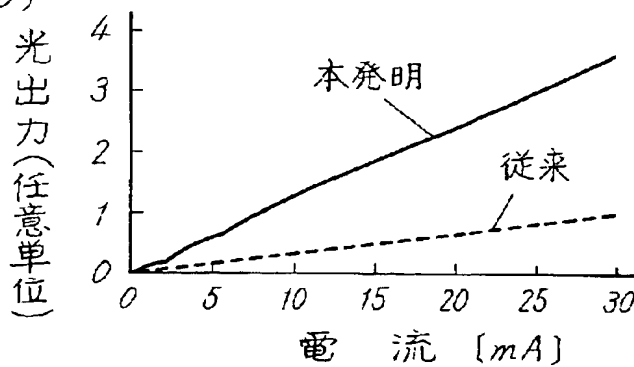


【図4】

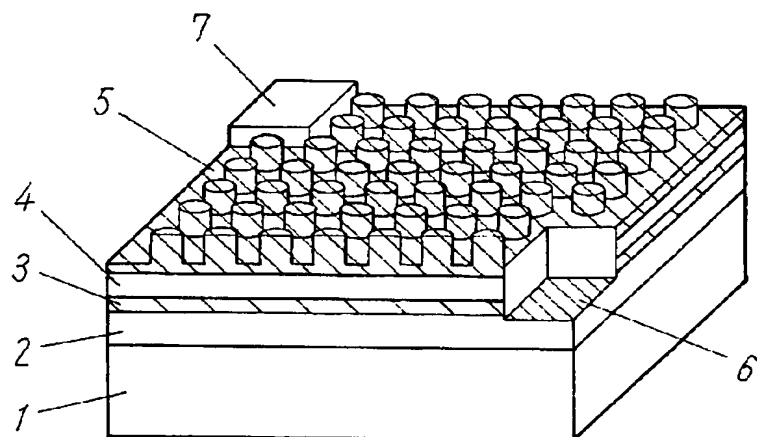
(a)



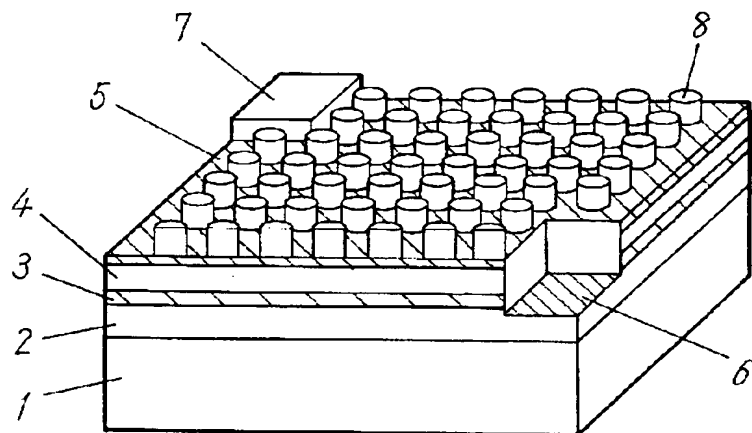
(b)



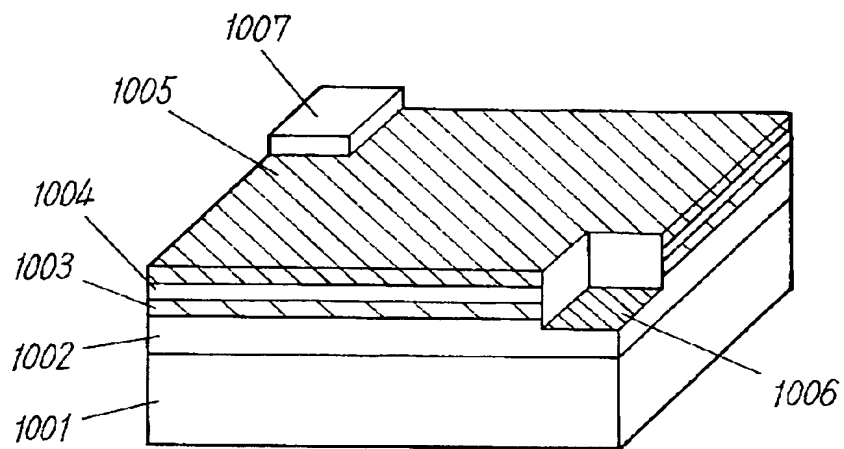
【図 5】



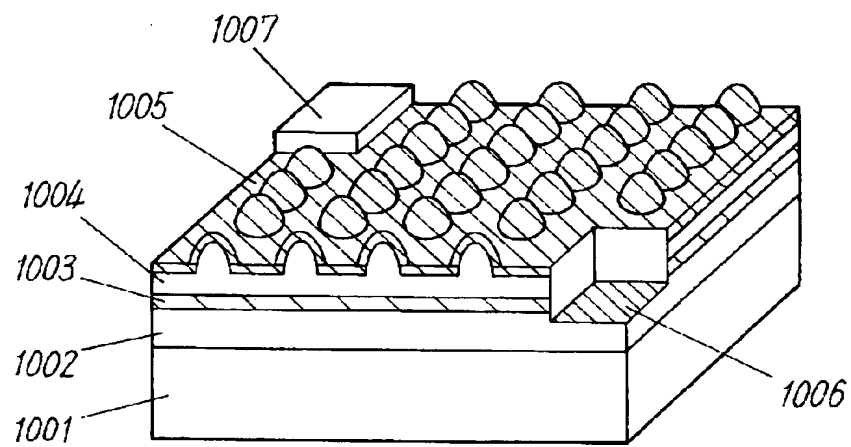
【図 6】



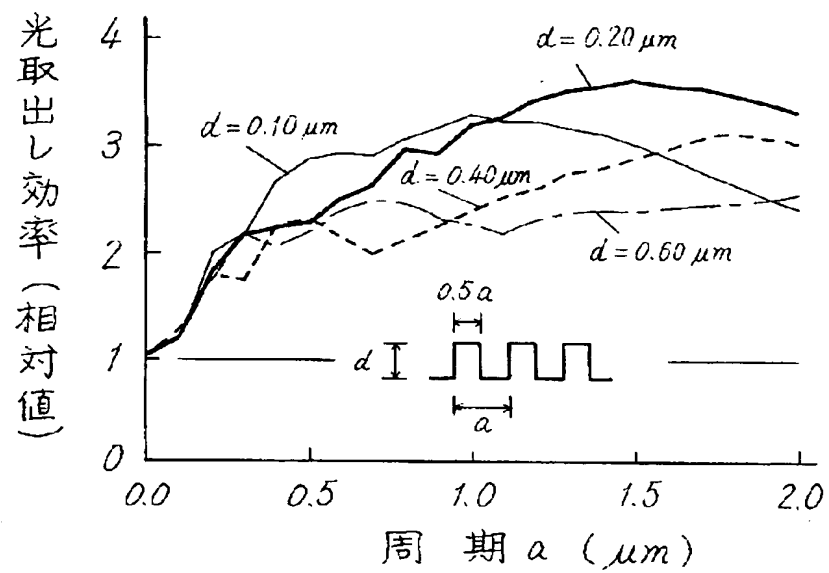
【図 7】



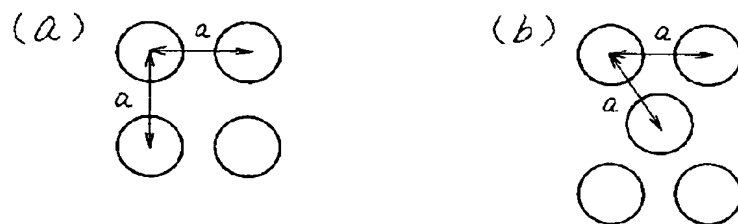
【図 8】



【図 9】



【図 10】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 窒化物系化合物半導体を用いた高効率な半導体発光素子を量産性高くかつ低価格で提供する。

【解決手段】 $p-GaN$ 層 4 に 2 次元周期構造の凹凸を形成し、前記凹凸の周期が発光波長の半導体中での光学的波長の 1 ～ 2 0 倍とする。その結果、2 次元周期構造の凹凸による回折効果のため、活性層 3 から放射される光の進行方向が変わる。凹凸がない場合には、 $p-GaN$ 層 4 と空気との界面での全反射条件を満たす放射角度の光は半導体素子の外へ取り出すことができず、素子の発光効率が低い。一方、本発明のような周期で 2 次元の凹凸を形成すると、全反射とならない角度に光が回折されるため半導体素子外への取り出し効率が飛躍的に向上する。その結果、素子の発光効率を向上することができる。

【選択図】 図 1

特願 2 0 0 3 - 1 4 1 7 1 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 8 2 1]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 8 月 2 8 日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地
氏 名	松下電器産業株式会社